

## 新疆紫草7种萘醌类成分的同时测定

郝鹤<sup>1</sup>, 李鹏跃<sup>2</sup>, 叶和春<sup>3</sup>, 池剑亭<sup>1</sup>, 王红<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 中国中医科学院中药研究所, 北京 100700;  
3. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

**[摘要]** 目的: 建立同时测定新疆紫草中紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、异丁酰紫草素、 $\beta, \beta$ -二甲基丙烯酸紫草素、异戊酰紫草素7种成分的HPLC检测方法。方法: 选用安捷伦ZORBAX SB-C<sub>18</sub>(4.6 mm × 250 mm, 5  $\mu$ m)色谱柱, 以乙腈-0.03%甲酸为流动相进行梯度洗脱, 检测波长516, 254 nm, 柱温30  $^{\circ}$ C, 进样量6  $\mu$ L, 流速1 mL·min<sup>-1</sup>。结果: 7种萘醌类对照品在进样量范围内分别与峰面积呈现的良好线性关系( $r > 0.999 1$ ); 仪器精密度和稳定性RSD均 $< 3\%$ ; 加样回收率在97%~103% ( $n=3$ )。结论: 该方法快速、准确、重复性好, 可同时定量新疆紫草的7种水溶性及脂溶性萘醌类成分, 为新疆紫草的质量评价提供了更为全面的科学依据。

**[关键词]** 新疆紫草; 愈伤组织; 萘醌类色素; 高效液相色谱

**[中图分类号]** R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2013)18-0108-05

**[doi]** 10.11653/syfy2013180108

## Simultaneous Determination of Seven Naphthoquinones in Crude Extract of *Arnebia euchroma*

HAO He<sup>1</sup>, LI Peng-yue<sup>2</sup>, YE He-chun<sup>3</sup>, CHI Jian-ting<sup>1</sup>, WANG Hong<sup>1\*</sup>

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
2. Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100070, China;  
3. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

**[收稿日期]** 20121105(011)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(61173098)

**[第一作者]** 郝鹤, 硕士, Tel: 15210674987, E-mail: hao6239@163.com

**[通讯作者]** \*王红, 博士, 教授, 从事中药植物次生代谢与代谢工程研究, Tel: 13671003972, E-mail: hwang@ucas.ac.cn

- [5] 张贵君, 罗容, 王奕杰. 中药药效组分理论与中药组  
分学[J]. 中药材, 2007, 30(2): 125.
- [6] 张锦慧, 张贵君, 刘晶晶, 等. 基于复方的黄连中原小  
檗碱型药效组分分析[C]. 长沙: 第三届中国中药  
商品学术年会暨首届中药葛根国际产业发展研讨会论  
文集, 2005.
- [7] 崔萌萌, 张贵君, 徐蓓蕾, 等. 桔苓中清热黄酮类药  
效组分的测定[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17  
(2): 83.
- [8] 陈广通, 张琳, 李玉琴, 等. HPLC测定大黄虫丸中芦  
荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚和大黄素甲醚含  
量[J]. 中国现代中药, 2010, 12(12): 20.
- [9] 孙佩, 李敏, 杨小多, 等. HPLC法测定大黄药材和饮  
片中番泻苷A和番泻苷B的含量[J]. 成都中医药大  
学学报, 2008, 31(9): 51.
- [10] 文春先, 徐蓓蕾, 刘晶晶, 等. 葛根质量评价沿革及其  
药效组分质量标准研究模式[J]. 中国实验方剂学杂  
志, 2012, 18(11): 3570.
- [11] 张贵君. 中药研究的误区思考与创新研发的新思路  
[J]. 中国中药杂志, 2007, 36(6): 26.
- [12] 张贵君. 中药鉴定研究方法学[M]. 北京: 人民卫生  
出版社, 2010: 13.
- [13] 侯艺辉, 张贵君, 徐蓓蕾. 用盐酸小檗碱作为黄连等  
中药质量评价指标探讨临床用药的安全性和有效性  
[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(9): 129.
- [14] 张贵君, 杨晶凡. 中药标准物质的科学内涵及其研究  
思路[J]. 现代药物与临床, 2009, 24(2): 71.

[责任编辑 邹晓翠]

**[ Abstract ] Objective:** To establish a new RP-HPLC method for simultaneous determination of the seven naphthoquinones in crude extract of *Arnebia euchroma*, namely lithospermum acid, shikonin, acetyl shikonin, deoxyshikonin, isobutyryl shikonin,  $\beta$ ,  $\beta$ -dimethylacry shikonin and isovalerylshikonin. **Method:** Agilent ZORBAX SB-C<sub>18</sub> (4.6 mm × 250 mm, 5  $\mu$ m) column was used with acetonitrile-pure water (with 0.03% formic acid) as mobile phase in gradients elution. The flow rate was 1 mL · min<sup>-1</sup>, and the UV detector was monitored at 254, 516 nm. **Result:** All the calibration curves of the seven naphthoquinones showed good linearity in test ranges ( $r > 0.9991$ ); and the overall recoveries were in the range of 97% -103% ( $n = 3$ ) with RSD less than 3%. The overall of RSD of precision test were less than 3%. A HPLC method for simultaneous determination of the seven naphthoquinones in crude extract of *A. euchroma* was established. **Conclusion:** The established HPLC method is rapid, accurate, credible and repeatable for the determination of the seven water-soluble (lithospermum acid) and liposoluble (the rest of six components) components simultaneously, and provide a more comprehensive scientific basis for the quality evaluation of *A. euchroma*.

**[ Key words ]** *Arnebia euchroma*; calli; naphthoquinones; HPLC

新疆紫草 *Arnebia euchroma* (Royle) Johnst 具有清热凉血、解毒透疹等功效<sup>[1]</sup>, 主要含有萘醌类、单萜苯醌、有机酸、萜类、甾体类、香豆素及内酯、黄酮类、苯酚类、酚酸类以及多糖类等多种具有生物活性的化合物<sup>[2-3]</sup>。新疆紫草的有效药用成分主要集中在萘醌类色素<sup>[4-5]</sup>, 新疆紫草提取物极性部位的成分具有增强免疫力<sup>[6-8]</sup>、止血<sup>[9]</sup>等功效。目前,《中国药典》2010年版中仅以紫草素、 $\beta$ ,  $\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素为指标成分<sup>[10]</sup>进行新疆紫草药材及饮片的质量控制, 缺乏质量评价的科学性和全面性。大量文献报道<sup>[11-13]</sup>多以紫草素、 $\beta$ ,  $\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、乙酰紫草素、异丁酰紫草素这几种成分为指标, 很少能兼顾到紫草的水溶性和脂溶性成分。

本试验的材料是能形成萘醌类色素的新疆紫草愈伤组织, 最早由李国凤等<sup>[14]</sup>获得。在适当培养条件下, 该愈伤组织经过 25 d 的培养能收获大量萘醌类产物。笔者采用梯度洗脱法, 建立了同时全面检测新疆紫草中极性差异较大的水溶性紫草酸及脂溶性紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、 $\beta$ ,  $\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、异丁酰紫草素、异戊酰紫草素 7 种化合物的液相色谱法, 为科学评价新疆紫草药材、饮片及其制剂的质量提供了参考依据。

## 1 材料

**1.1 仪器** Agilent 1200 型高效液相色谱仪(美国安捷伦公司), 含柱温箱, 标准自动进样器, DAD 阵列检测器, Agilent chemstation 化学工作站。Mettler toledo AL 104 型电子天平(瑞士梅特勒-托利多公司), SB-3200DTN 型超声清洗仪(宁波新芝生物技术股份有限公司), Laborota 4400 型旋转蒸发器(德国海道夫公司), DGX-9240 型鼓风干燥箱(上海昨

非实验室设备有限公司), LRH-250A 型生化培养箱(韶关泰宏医疗器械有限公司)。

**1.2 试药** 乙酰紫草素对照品(上海同田生物制品有限公司, 批号 11122931)、去氧紫草素对照品(东京化成工业株式会社, 批号 C23420C)、 $\beta$ ,  $\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素对照品(东京化成工业株式会社, 批号 C140492C)、异丁酰紫草素对照品(东京化成工业株式会社, 批号 A11000A)、异戊酰紫草素对照品(东京化成工业株式会社, 批号 C01830C)、紫草酸对照品(北京翔悦环宇科技发展有限公司, 批号 110427)、左旋紫草素对照品(中国药品生物制品检定所, 批号 110769-200405)。新疆紫草药材甲醇提取液(本实验室提取), 新疆紫草愈伤组织甲醇提取液(本实验室提取), 乙腈、甲醇均为色谱纯, 购自 Tedia(美国)公司; 水(纯化水, 杭州娃哈哈公司), 其他试剂均为分析纯。新疆紫草药材采自新疆地区, 由中国科学院植物研究所叶和春研究员提供; 新疆紫草愈伤组织由叶和春研究员提供, 本实验室继代保存。

## 2 方法与结果

**2.1 色谱条件** 选用安捷伦 ZORBAX SB-C<sub>18</sub> (4.6 mm × 250 mm, 5  $\mu$ m) 色谱柱, 以乙腈-0.03% 甲酸为流动相进行梯度洗脱, 梯度洗脱程序见表 1, 检测波长 254, 516 nm, 柱温 30  $^{\circ}$ C, 进样量 6  $\mu$ L, 流速 1.0 mL · min<sup>-1</sup>。

在上述色谱条件下, 紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、异丁酰紫草素、 $\beta$ ,  $\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、异戊酰紫草素的保留时间分别为 6.62, 29.87, 39.08, 44.41, 46.61, 48.5, 49.49 min。

**2.2 对照品溶液的制备** 分别准确称量紫草酸

表 1 流动相梯度洗脱程序

t/min	乙腈量/%	0.03% 甲酸/%
0	20	80
10	30	70
20	45	55
30	55	45
40	70	30
50	85	15
60	85	15
65	20	80
80	20	80

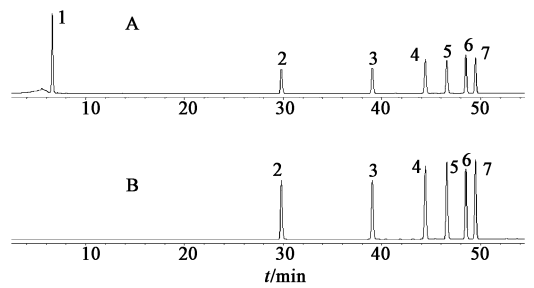
5.4 mg、紫草素 2.9 mg、乙酰紫草素 3.4 mg、去氧紫草素 2.8 mg、异丁酰紫草素 3.6 mg、 $\beta, \beta$ -二甲基丙烯酸紫草素 3.8 mg、异戊酰紫草素 3.8 mg, 置于 1 mL 量瓶中, 用甲醇定容, 在涡旋仪上摇匀, 制得质量浓度为 5.4, 2.9, 3.4, 2.8, 3.6, 3.8, 3.8 g·L<sup>-1</sup> 的紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、异丁酰紫草素、 $\beta, \beta$ -二甲基丙烯酸紫草素、异戊酰紫草素对照品溶液。准确称量紫草酸 5.4 mg、紫草素 2.9 mg、乙酰紫草素 3.4 mg、去氧紫草素 2.8 mg、异丁酰紫草素 3.6 mg、 $\beta, \beta$ -二甲基丙烯酸紫草素 3.8 mg、异戊酰紫草素 3.8 mg, 置于 1 mL 量瓶中, 用甲醇溶解, 摇匀后定容, 制得混标溶液。上清液过 0.22  $\mu$ m 微孔滤膜后, 避光、冷藏备用。

**2.3 供试品溶液的制备** 精密量取新疆紫草甲醇提取液 20 mL (相当于药材 1.25 g), 置洁净蒸馏瓶中, 40  $^{\circ}$ C 减压蒸干, 加入适量甲醇复溶, 后转入 10 mL 量瓶, 再加入甲醇到刻度, 密塞, 超声提取 10 min, 放冷, 密塞, 用甲醇补足减失的质量, 摇匀, 过滤, 取续滤液, 以微孔滤膜 (0.22  $\mu$ m) 滤过, 即得。

**2.4 系统关系考察** 按照 2.1 所述色谱条件, 依次对混标、新疆紫草药材、新疆紫草愈伤组织样品溶液进行检测。结果见图 1~3。

**2.4.1 线性关系** 对 2.2 中所配制的混标溶液进行稀释, 分别将混标溶液稀释到原溶液的 0.01, 0.02, 0.055 6, 0.125, 0.25, 0.333, 0.375, 0.625, 0.75 倍, 用 1 mL 量瓶定容。按照浓度由小到大的顺序上样, 每个样品的进样量为 6  $\mu$ L, 按照 2.1 的色谱条件进行检测。以 254 nm 的色谱峰面积 (Y) 对进样量 (X) 进行线性回归, 绘制标准曲线。结果表明在进样量范围内线性关系良好。

回归方程  $Y_{\text{紫草酸}} = 384.1X - 7.596$  ( $r = 0.9999$ ), 线性范围 0.324 ~ 24.0  $\mu$ g;  $Y_{\text{紫草素}} = 715.3X - 7.596$



1. 紫草酸; 2. 紫草素; 3. 乙酰紫草素; 4. 去氧紫草素; 5. 异丁酰紫草素; 6.  $\beta, \beta$ -二甲基丙烯酸紫草素; 7. 异戊酰紫草素  
A. 254 nm; B. 516 nm (图 2~3 同)

图 1 混标 HPLC 色谱

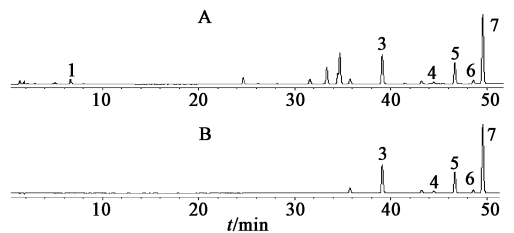


图 2 新疆紫草愈伤组织提取物 HPLC

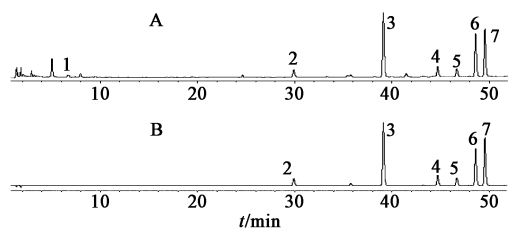


图 3 新疆紫草药材提取物 HPLC

( $r = 0.9999$ ), 线性范围 0.174 ~ 13.05  $\mu$ g;  $Y_{\text{乙酰紫草素}} = 660.3X - 100.4$  ( $r = 0.9995$ ), 线性范围 0.204 ~ 15.30  $\mu$ g;  $Y_{\text{去氧紫草素}} = 904.2X - 21.41$  ( $r = 0.9992$ ), 线性范围 0.168 ~ 12.6  $\mu$ g;  $Y_{\text{异丁酰紫草素}} = 712.2X - 76.32$  ( $r = 0.9996$ ), 线性范围 0.216 ~ 16.20  $\mu$ g;  $Y_{\beta, \beta\text{-二甲基丙烯酸紫草素}} = 753.7X - 108.1$  ( $r = 0.9996$ ), 线性范围 0.228 ~ 17.10  $\mu$ g;  $Y_{\text{异戊酰紫草素}} = 638.6X - 48.11$  ( $r = 0.9992$ ), 线性范围 0.228 ~ 17.10  $\mu$ g。

在 2.1 所述色谱条件下, 对混标和新疆紫草提取样品进行检测, 混标及样品溶液色谱图分别如图 1~3, 各成分的分度及峰型符合含量测定要求。

**2.4.2 精密度考察** 精确吸取同一对照品溶液, 在 2.1 所述色谱条件下, 1 日内连续进样 5 次, 记录峰面积 RSD; 同一对照品溶液, 在 2.1 的色谱条件下每天进样 1 次, 连续进样 5 d, 进样量 6  $\mu$ L, 分别计算峰面积 RSD。紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草

素、异丁酰紫草素、 $\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、异戊酰紫草素,日内峰面积 RSD 分别为 0.87%,0.93%,1.04%,1.12%,1.03%,1.10%,1.47%。日间峰面积 RSD 分别为 3.93%,3.08%,1.88%,3.27%,2.57%,2.66%,2.49%。表明仪器精密度良好。

**2.4.3 重复性考察** 对 2.3 提取获得的新疆紫草溶液同一样品,同时制备 6 份,按 2.1 色谱条件进行检测,计算各物质的含量,紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、异丁酰紫草素、 $\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、异戊酰紫草素获得的 RSD 分别为 3.2%,0.56%,0.27%,1.48%,0.56%,0.54%,0.24%。由于紫草酸的含量比较少,因此误差略大。总体来看,本法的重复性良好。

表 2 新疆紫草愈伤组织提取物中 7 种成分加样回收率试验( $n=3$ )

成分	样品中量/mg	加入量/mg	测得量/mg	回收率/%	平均值/%	RSD/%
紫草酸	1.079	0.864	1.950	100.810	102.389	1.541
	1.081	1.080	2.203	103.889		
	1.083	1.296	2.411	102.469		
紫草素	0.018	0.464	0.473	98.060	99.609	2.498
	0.018	0.58	0.588	98.276		
	0.018	0.522	0.553	102.490		
乙酰紫草素	2.012	0.544	2.571	102.757	102.564	1.659
	2.010	0.680	2.718	104.118		
	2.017	0.612	2.634	100.817		
去氧紫草素	0.136	0.448	0.582	99.554	100.804	1.140
	0.138	0.560	0.704	101.071		
	0.133	0.504	0.646	101.786		
异丁酰紫草素	1.321	0.576	1.906	101.563	102.368	1.686
	1.324	0.720	2.075	104.306		
	1.328	0.648	1.984	101.235		
$\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素	0.324	0.608	0.940	101.316	101.009	2.187
	0.327	0.760	1.110	103.026		
	0.321	0.684	0.996	98.684		
异戊酰紫草素	4.683	0.608	5.305	102.303	101.518	2.394
	4.681	0.760	5.467	103.421		
	4.677	0.684	5.353	98.830		

**2.5 样品测定** 新疆紫草药材与新疆紫草愈伤组织按照 2.3 的方法制备样品,所得提取溶液按 2.1 的色谱条件检测,测定紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、 $\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、异丁酰紫草素、异戊酰紫草素的峰面积,按照回归方程计算出每克药材中所含上述各成分的含量,结果见表 3。

从表 3 中对比新疆紫草药材与愈伤组织的紫草

**2.4.4 稳定性考察** 分别取 2.3 新疆紫草样品溶液,按照 2.1 的色谱条件,在 0,4,8,20,28,48 h 上样,测定其峰面积。紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、异丁酰紫草素、 $\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、异戊酰紫草素的 RSD 分别为 2.74%,1.65%,1.45%,1.42%,1.40%,1.49%,1.45%,表明本系统的稳定性良好。

**2.4.5 回收率考察** 采用加样回收率方法。取已知含量的新疆紫草甲醇提取液 10 mL,精密称定 9 份,平均分成 3 份,分别加入 160,200,240  $\mu$ L,3 个低、中、高量的混合对照品溶液,按 2.3 的方法蒸干,定容至 10 mL,在 2.1 的色谱条件下测定,各物质的总量与 RSD,结果见表 2。

素含量可以得出,新疆紫草药材中紫草素含量是愈伤组织的 20 多倍。比较它们之间的色谱峰可以看出,愈伤组织提取物看不到明显的色谱峰,在某些情况下笔者也可以忽略愈伤组织中的紫草素,认为它不含紫草素。新疆紫草药材中  $\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素含量是愈伤组织的 5 倍左右,但是愈伤组织中异戊酰紫草素、去氧紫草素、异丁酰紫草素、紫草

表 3 新疆紫草药材与愈伤组织 7 种成分含量  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

成分	新疆紫草愈伤组织	新疆紫草药材
紫草酸	1.000	0.292
紫草素	0.0287	0.617
乙酰紫草素	4.417	5.363
去氧紫草素	2.793	0.682
异丁酰紫草素	3.344	0.682
$\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素	0.595	3.083
异戊酰紫草素	11.792	3.941

酸的含量却高于新疆紫草药材中的相应成分的含量。

### 3 讨论

新疆紫草提取物在可见光区和紫外光区都有吸收峰,笔者增加可见光 516 nm 处检测,主要是由于在 516 nm 处,萘醌类化合物有吸收峰而其他化合物没有吸收峰,使得在该波长处的色谱峰相对较少,有利于对萘醌类化合物的研究。本研究使用了 4 种溶剂,即石油醚、乙酸乙酯、95% 乙醇和乙腈依次对材料进行提取,该方法简单适用,易于操作,最重要的是该方法能最大量的提取材料中的各类化合物,为新疆紫草物质基础的相关研究奠定了基础。

本研究所建立的反相  $\text{C}_{18}$  柱高效液相色谱同时测定紫草酸、紫草素、乙酰紫草素、去氧紫草素、 $\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素、异丁酰紫草素、异戊酰紫草素含量的方法,操作简单、快速、重复性好、测定结果稳定可靠,可用于新疆紫草的质量鉴定,也可以用于对新疆紫草代谢物谱的研究。

由于新疆紫草至今不能进行有效地人工种植,再加上市场的需求量日益增长,野生新疆紫草被掠夺性采挖,从而导致新疆紫草资源日益枯竭,因此,新疆紫草的药物来源成为一个难题。笔者研究的新疆紫草愈伤组织生长繁殖快,能克服野生新疆紫草生长慢、不能快繁的缺点<sup>[14]</sup>。从表 3 的检测结果可以发现除紫草素外,其他新疆紫草的有效成分在新疆紫草愈伤组织中均有大量合成,因此,对新疆紫草愈伤组织的生理生化特性进行进一步研究,有助于解决新疆紫草药物来源匮乏的难题。

### [参考文献]

[1] 姜林,李晓瑾,贾晓光. 新疆紫草 HPLC 指纹图谱的

研究[J]. 中成药, 2005, 27(11):1241.

[2] 郭鑫,李治建,谢奇,等. 新疆紫草化学成分初步研究[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(4):815.

[3] 向桂琼,卢馥荪,李国风,等. 新疆紫草细胞培养物的化学成分研究[J]. 植物学报, 1992, 34(6):470.

[4] 赵雪梅,王桂玲,费洪荣,等. 紫草有效成分的提取及其抗炎作用研究[J]. 中药药理与临床, 2008, 24(4):37.

[5] 林江,韩福刚,王开正. 新疆紫草素对肿瘤细胞生长抑制作用的研究[J]. 泸州医学院学报, 2003, 26(2):102.

[6] 米克热帕·阿布都买买提,买尔旦·马合木提,古丽仙·胡加. 新疆紫草水提部位对小鼠 T 淋巴细胞亚群和血液学指标的影响[J]. 海峡医学, 2012, 24(2):26.

[7] Cheng Y W, Chang C Y, Lin K L, et al. Shikonin derivatives inhibited LPS-induced NOS in RAW264.7 cells via downregulation of MAPK/NF- $\kappa$ B signaling [J]. *Ethnopharmacol*, 2008, 120(2):264.

[8] Kim J Y, Jeong H J, Park J Y, et al. Selective and slow-binding inhibition of shikonin derivatives isolated from *Lithospermum erythrorhizon* on glycosyl hydrolase 33 and 34 sialidases [J]. *Bioorgan Med Chem*, 2012, 20(5):1740.

[9] 米克热帕·阿布都买买提,买尔旦·马合木提,古丽仙·胡加,等. 新疆紫草止血作用研究[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(11):2889.

[10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[S]. 北京:中国医药科技出版社, 2010:320.

[11] 韩洁,朱利民,翁新楚,等. RP-HPLC 法同时测定紫草中紫草素、异丁酰紫草素和  $\beta,\beta$ -二甲基丙烯酰紫草素的含量[J]. 药物分析杂志, 2008, 28(1):6.

[12] 贺金华,芦韦华,王芳,等. RP-HPLC 法同时测定新疆紫草毛状根中乙酰紫草素和  $\beta,\beta'$ -二甲基丙烯酰紫草色素的含量[J]. 药物分析杂志, 2010, 16(10):1849.

[13] 关晶,雷萌,张建民. HPLC 测定紫草提取物中  $\beta,\beta'$ -二甲基丙烯酰阿卡宁的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(14):124.

[14] 李国风,伍正容,叶和春,等. 离体培养的新疆紫草萘醌色素的诱导形成[J]. 植物学通报, 1988, 5(2):84.

[责任编辑 邹晓翠]